第 41 卷 第 2 期
2024 年 4 月

应 用 力 学 学 报
Chinese Journal of Applied Mechanics

Vol. 41 No. 2
Apr. 2024

文章编号:1000-4939(2024)02-0477-08

腰椎运动链训练系统对腰椎间盘突出症患者术后腰椎功能与生物力学的影响

高健[1],李伟[2]

(1. 郑州工业应用技术学院,451100 郑州;2. 河南省信阳市中心医院,464099 信阳)

摘 要:探讨腰椎运动链训练系统对腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation,LDH)术后腰椎功能与生物力学的影响。通过选取河南省信阳市中心医院收治的 122 例 LDH 患者,随机数字表法分组,各 61 例。两组均行手术治疗,对照组采取常规训练,观察组基于对照组采取腰椎运动链训练系统。比较 2 组干预效果。干预 12 周后、24 周后观察组健侧、弱链侧平均振幅值、步幅、步频、腰背伸展状态平均功率(AP)、腰背伸展状态平均功率(PT)高于对照组,VAS 评分及腰背屈/伸比(F/E)低于对照组($P<0.05$);干预 24 周后观察组 SF-36、BI 评分高于对照组($P<0.05$)。腰椎运动链训练系统可缓解 LDH 术后疼痛,改善下肢步态,恢复腰椎功能及生物力学,提高生活质量。

关键词:腰椎间盘突出症;经皮椎间孔镜微创手术;腰椎运动链训练系统;常规训练

中图分类号:G804.66 **文献标志码**:A **DOI**:10.11776/j.issn.1000-4939.2024.02.021

The effect of lumbar kinematic chain training system on lumbar function and biomechanics in patients with lumbar disc herniation after surgery

GAO Jian[1],LI Wei[2]

(1. Zhengzhou University of Industrial Technology,451100 Zhengzhou,China;
2. Henan Xinyang Central Hospital,464099 Xinyang,China)

Abstract:To investigate the effect of lumbar motion chain training system on lumbar function and biomechanics after lumbar disc herniation (LDH) surgery. A total of 122 patients with LDH admitted to the Central Hospital of Xinyang City,Henan Province,were selected and randomly divided into two groups of 61 cases each. Both groups underwent surgical treatment,with the control group receiving conventional training and the observation group receiving lumbar motion chain training system based on the control group. The intervention effects of the two groups were compared. After 12 and 24 weeks of intervention,the average amplitude,stride length,step frequency,AP,and PT of the healthy side and weak chain side in the

收稿日期:2023-11-16 **修回日期**:2024-01-09

基金项目:教育部产学合作协同育人项目:“运动处方+智慧体育”精准干预大学生体质健康效用的实证研究(No. 220601359143854)

通信作者:高健。E-mail:gjian176621@163.com

引用格式:高健,李伟. 腰椎运动链训练系统对腰椎间盘突出症患者术后腰椎功能与生物力学的影响[J]. 应用力学学报,2024,41(2):477-484.
GAO Jian,LI Wei. The effect of lumbar kinematic chain training system on lumbar function and biomechanics in patients with lumbar disc herniation after surgery[J]. Chinese journal of applied mechanics,2024,41(2):477-484.

observation group were higher than those in the control group, while the VAS score and F/E were lower ($P<0.05$). After 24 weeks of intervention, the SF-36 and BI scores in the observation group were higher than those in the control group ($P<0.05$). The lumbar spine motion chain training system can alleviate postoperative pain of LDH, improve lower limb gait, restore lumbar spine function and biomechanics, and improve quality of life.

Key words: lumbar disc herniation; minimally invasive percutaneous intervertebral foraminoscopic surgery; lumbar chain of motion training system; routine training

腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)是脊柱外科常见疾病,约10% ~18%患者需接受外科手术治疗[1-2]。经皮椎间孔镜微创手术是治疗LDH理想术式,具有创伤小、恢复快、疗效好等诸多优势[3]。然而有研究指出,LDH术后安静卧床2周会减少肌蛋白合成量,导致骨质流失,诱发下腰痛、患肢麻木,影响患者生活质量[4]。因此,LDH术后进行系统、规范康复训练对控制腰腿痛症状、改善预后具有重要意义。

腰椎运动链训练系统是近年推崇的康复方案,以Mckenzie技术为指导框架,根据LDH患者症状及经皮椎间孔镜微创手术术后恢复特定制定分期康复方案,旨在巩固手术效果,恢复腰椎功能,提高生活质量[5]。

本研究通过腰椎运动链训练系统对LDH术后患者治疗,分析其对腰椎功能、生物力学及下肢步态参数的影响,以期为本病康复提供有利依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取2018年1月—2020年8月河南省信阳市中心医院院122例LDH患者,采用随机数字表法将患者分为对照组和观察组,各61例。纳入标准(符合LDH诊断标准[6]):伴腰部外伤史及慢性腰痛史,直腿抬高试验阳性,X线显示腰椎生理曲度减少,CT显示椎间突出部位及程度;均行择期经皮椎间孔镜微创手术;单侧病变;年龄20 ~60岁;意识清醒,具备正常沟通与交流能力;患者及家属知晓,自愿签署知晓同意书。排除标准:腰椎手术史;其他腰椎疾病(腰椎滑脱、椎管狭窄);重度骨质疏松;肝肾异常;凝血机制异常。两组性别、年龄、病程、病变节段、病变侧别等资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表1。本研究经医院伦理委员会审核批准(审批号:ZX2023201)。

表1 LDH患者基础资料

Tab. 1 General information of the LDH patients

项目	n	性别		年龄	病程/月	病变节段			病变侧别	
		男	女			$L_{3\sim4}$	$L_{4\sim5}$	$L_5\sim S_1$	左侧	右侧
观察组	61	38	23	42.25 ±5.51	15.35 ±3.22	25(40.98)	19(31.15)	17(27.87)	30(49.18)	31(50.82)
对照组	61	40	21	40.95 ±6.33	16.12 ±2.87	20(32.79)	23(37.70)	18(29.51)	26(42.62)	35(57.38)
t/χ^2		0.142		1.210	1.394		0.965		0.528	
P		0.706		0.228	0.166		0.617		0.467	

1.2 研究方法

两组均由同一组医师团队施行经皮椎间孔镜微创手术,术后均采取非甾体消炎止痛药、营养神经药、放松肌肉药治疗。对照组术后采取常规训练,住院期间由管床护士告知其正确坐起、站立、下床行走、直腿抬高训练方法,注意不强制要求锻炼强度及频次,出院后指导患者重复上述训练,定期到门诊复查。

观察组基于对照组采取腰椎运动链训练系统,注意各时间段运动方案均在上一时间段基础上实施,术后2周内均于院内接受现场指导,术后2周开始利用微信进行院外远程康复指导,定期接受康复评估,反馈问题,调整方案,见表2。

表 2　腰椎运动链训练系统

Tab. 2　Lumbar kinematic chain training system

时间	运动方案	目的
术后 1 ~ 3 d	被动直腿抬高练习:床头抬高 45°,患者处半卧位 2 min,后将床头摇平,处于平卧位,被动抬高双下肢 45°;桥式运动(单桥):仰卧位,双手放于体侧,左腿屈曲足底踩至床面,同侧髋部向上顶出,右侧重复上述动作。	缓解疼痛,防治并发症
术后 4 d ~ 2 周	平卧拱身运动:仰卧位,双手位于体侧,手掌朝向床面,腰臀部向上拱出;仰卧团身抱运动:屈髋屈膝,双手环抱膝关节,维持 3 s 后放松;同时指导患者佩戴支具进行床旁站立,10 min/次,2 次/d。	改善腰椎功能
术后 2 ~ 3 周	仰卧上肢支撑伸腰运动:俯卧位,双手支撑于床面,缓缓抬起上半身,注意不要耸肩低头,见图 1(a);同时指导患者佩戴支具进行室内步行,逐步增加步行距离。	恢复上肢功能
术后 4 ~ 6 周	坐位体前屈:坐于床面,躯干直立,伸髋伸膝,双手向正前方伸直,见图 1(b);仰卧抬腿运动:仰卧位,上肢放于胸前,曲髋屈膝直腿抬高下肢,交替进行,呼吸均匀,注意不要屏气,见图 1(c);叮嘱患者进行社区内步行,参加力所能及的生活活动及非体力性活动。	增加下肢肌肉耐力
术后 6 ~ 12 周	改良燕飞运动:俯卧位,腹部下方垫薄枕,双上肢位于身后,双下肢伸直,小腹与躯干部肌肉全程适度紧张,见图 1(d);卧位骨盆交替前旋运动:仰卧位,双手置于髂前上棘处,双侧髂骨以双手阻力为运动方向,交替运动旋前,见图 1(e);叮嘱患者参加一般工作。	独立生活
术后 12 ~ 24 周	爬行训练:双手、双足触地,膝关节、踝关节屈曲 90°,躯干尽可能平行于地面,下肢屈曲时同侧髋关节外展外旋,见图 1(f)。	独立生活、工作

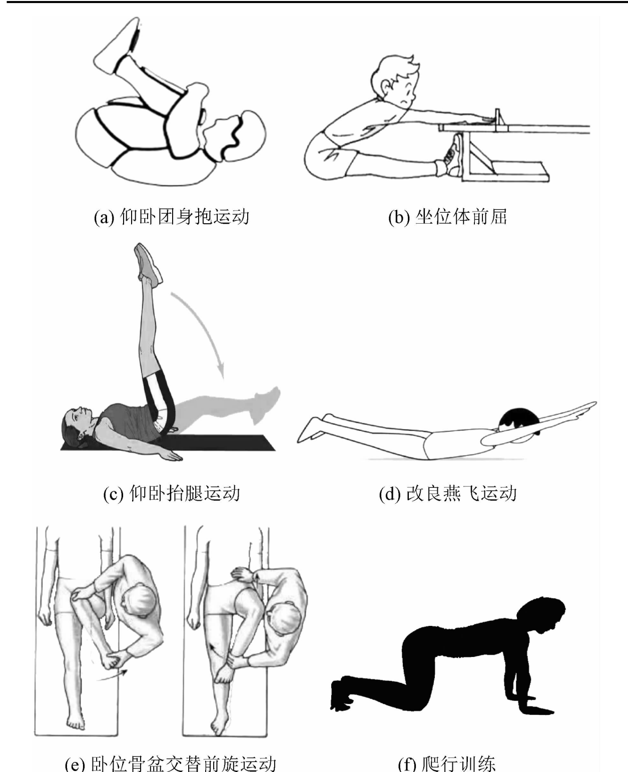


图 1　腰椎运动链训练系统方案

Fig. 1　Lumbar spine kinematic chain training system program

1.3　观察指标

分别于干预前、干预 12 周后、24 周后评估两组腰椎功能、疼痛程度、多裂肌平均振幅值、腰背肌生物力学参数、下肢步态参数。Oswestry 功能障碍指数(oswestry disability index,ODI)[7] 涉及旅游、干扰睡眠、社会活动、生活自理、性生活、站立、步行、疼痛的强度、坐位、提物 10 个方面,满分 50 分,分值越低腰椎功能越好。视觉模拟评分法(visual analogue scale,VAS)[8] 评分范围 0 ~ 10 分,分值越低疼痛越轻。应用表面肌电图采集表面肌电信号,共测量 3 次,每次间隔 3 min,提取健侧及弱链侧平均振幅值。应用等速测试方法测量峰力矩(peak torque,PT)、腰背屈/伸比(flexor/extensor,F/E)、腰背伸展状态平均功率(average power,AP)。应用美国 Motion Analysis 三维步态分析系统采集患者步态,指导其以自然步态往返(至少 3 ~ 5 次)顺测力台直线行走 5 m,注意两只脚不能落在同一测力台,记录步幅、步频。

分别于干预前、干预 24 周后评估两组生活质量及日常生活能力。简明健康状况量表(The Medical Outcomes Study 36-item Short-form Health Survey,SF-36)[9]、Barthel 指数(Barthel index,BI)[10] 总分均为 100 分,分值越高说明生活质量越高,日常生活能力越高。

1.4　统计学方法

通过 SPSS 22.0 处理数据,符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验,组内比较采用配对 t 检验,ODI 及 VAS 评分、多裂肌平均振幅值、生物力学参数、下肢步态参数均采用重复测量方差分析,$P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 研究结果

2.1 两组ODI、VAS评分

干预前至干预24周后两组ODI、VAS评分均呈降低趋势，干预12周后、24周后观察组ODI、VAS评分低于对照组，两组ODI、VAS评分组间、时间点、组间·时间点比较，差异有统计学意义（$P<0.05$），见表3。

表3 两组ODI、VAS评分（$\bar{x}\pm s$）

Tab.3 ODI and VAS scores in the two groups ($\bar{x}\pm s$)

项目	组别	n	干预前	干预12周后	干预24周后
ODI评分	观察组	61	26.04±2.21	18.89±3.35	10.12±2.18
	对照组	61	24.89±3.42	20.22±4.42	15.33±3.36
F				$F_a=17.500, F_b=56.284, F_{a\cdot b}=23.617$	
P				$P_a<0.01, P_b<0.01, P_{a\cdot b}<0.01$	
VAS评分	观察组	61	7.12±0.56	3.05±0.68	1.55±0.34
	对照组	61	7.23±0.49	3.68±0.72	2.49±0.42
F				$F_a=19.353, F_b=69.624, F_{a\cdot b}=50.568$	
P				$P_a<0.01, P_b<0.01, P_{a\cdot b}<0.01$	

注：a表示组间；b表示时间点；a·b表示交互。

2.2 两组多裂肌平均振幅值

干预前至干预24周后两组健侧、弱链侧平均振幅值呈升高趋势，干预12周后、24周后观察组建侧、弱链侧平均振幅值高于对照组，两组健侧、弱链侧平均振幅值组间、时间点、组间·时间点比较，差异有统计学意义（$P<0.05$），见表4。

表4 两组多裂肌平均振幅值（$\bar{x}\pm s$）

Tab.4 The average amplitude of the multifidus muscles of the two groups ($\bar{x}\pm s$)

项目	组别	人数	干预前	干预12周后	干预24周后
健侧振幅	观察组	61	65.33±4.42	69.29±4.78	73.35±6.13
	对照组	61	64.68±5.26	67.07±4.45	70.21±5.95
F				$F_a=10.005, F_b=14.121, F_{a\cdot b}=12.218$	
P				$P_a<0.01, P_b<0.01, P_{a\cdot b}<0.01$	
弱链侧振幅	观察组	61	52.12±4.03	65.52±5.34	70.72±6.56
	对照组	61	50.96±5.34	60.61±5.72	64.48±5.33
F				$F_a=9.986, F_b=31.505, F_{a\cdot b}=15.556$	
P				$P_a<0.01, P_b<0.01, P_{a\cdot b}<0.01$	

注：a表示组间；b表示时间点；a·b表示交互。

2.3 两组生物力学参数

干预前至干预24周后两组AP、PT呈升高趋势，F/E呈降低趋势，干预12周后、24周后观察组AP、PT高于对照组，F/E低于对照组，两组AP、PT、F/E组间、时间点、组间·时间点比较，差异有统计学意义（$P<0.05$），见表5。

2.4 两组下肢步态参数

干预前至干预24周后两组步幅、步频呈升高趋势，干预12周后、24周后观察组步幅、步频高于对照组，两组步幅、步频组间、时间点、组间·时间点比较，差异有统计学意义（$P<0.05$），见表6。

表 5　两组生物力学参数（$\bar{x} \pm s$）

Tab. 5　Biomechanical parameters in the two groups（$\bar{x} \pm s$）

项目	组别	人数	干预前	干预 12 周后	干预 24 周后
腰背伸展状态平均功率/W	观察组	61	30.14 ±3.12	35.58 ±4.46	42.56 ±5.28
	对照组	61	28.96 ±5.56	32.31 ±4.24	37.79 ±5.01
F			F_a =10.269，F_b =27.865，$F_{a\cdot b}$ =20.036		
P			P_a <0.01，P_b <0.01，$P_{a\cdot b}$ <0.01		
腰背屈伸比/%	观察组	61	80.89 ±7.65	72.38 ±4.77	65.44 ±4.38
	对照组	61	82.03 ±6.17	75.95 ±5.03	71.52 ±6.11
F			F_a =11.036，F_b =14.999，$F_{a\cdot b}$ =11.187		
P			P_a <0.01，P_b <0.01，$P_{a\cdot b}$ <0.01		
应用等速测试方法测量力矩/（N·m）	观察组	61	69.55 ±5.12	75.58 ±6.69	85.02 ±7.72
	对照组	61	71.12 ±4.33	73.34 ±5.88	76.62 ±8.03
F			F_a =8.999，F_b =18.301，$F_{a\cdot b}$ =14.697		
P			P_a <0.01，P_b <0.01，$P_{a\cdot b}$ <0.01		

注：a 表示组间；b 表示时间点；a · b 表示交互。

表 6　两组下肢步态参数（$\bar{x} \pm s$）

Tab. 6　Gait parameters of lower limbs of the two groups（$\bar{x} \pm s$）

项目	组别	人数	干预前	干预 12 周后	干预 24 周后
步频/（步 · min^{-1}）	观察组	61	70.22 ±5.51	74.48 ±4.63	79.83 ±8.82
	对照组	61	68.91 ±7.24	71.19 ±5.03	75.56 ±7.12
F			F_a =11.255，F_b =11.434，$F_{a\cdot b}$ =10.428		
P			P_a <0.01，P_b <0.01，$P_{a\cdot b}$ <0.01		
步幅/m	观察组	61	0.74 ±0.11	0.85 ±0.12	0.98 ±0.25
	对照组	61	0.72 ±0.14	0.80 ±0.14	0.88 ±0.22
F			F_a =12.405，F_b =15.273，$F_{a\cdot b}$ =11.897		
P			P_a <0.01，P_b <0.01，$P_{a\cdot b}$ <0.01		

注：a 表示组间；b 表示时间点；a · b 表示交互。

2.5　两组 SF-36、BI 评分

干预前两组 SF-36、BI 评分比较，差异无统计学意义（P >0.05），干预 24 周后两组 SF-36、BI 评分均高于干预前，且观察组高于对照组（P <0.05），见表 7。

表 7　两组 SF-36、BI 评分（$\bar{x} \pm s$）

Tab. 7　SF-36 and BI scores of the two groups（$\bar{x} \pm s$）

项目	人数	BI		SF-36	
		干预前	干预 24 周后	干预前	干预 24 周后
观察组	61	53.85 ±5.61	68.72 ±6.13	55.12 ±4.49	70.72 ±5.54
对照组	61	55.02 ±4.75	64.38 ±5.85	56.42 ±4.08	65.56 ±6.11
t		1.243	4.000	1.674	4.886
P		0.216	<0.01	0.097	<0.01

3　讨　论

由于静态工作方式、不良生活习惯影响，LDH 发病率逐年升高，呈年轻化趋势进展。保守治疗可有效控制腰痛、坐骨神经痛等症状，短期效果确切，但长期应用效果有限[11-12]。经皮椎间孔镜微创术可切除突出椎间盘，解除神经根压迫，延缓病情进

展,然而资料显示,术后约30%患者存在原发或继发腰痛,20%患者存在腿痛,30%患者腰椎灵活性明显下降,加强主动系统功能锻炼及神经调节系统运动再学习尤为重要[13-16]。

3.1 腰椎运动链训练系统对LDH患者疼痛、腰椎功能、生物力学参数的影响

腰椎运动链训练系统是新型康复手段,冯冬前等[17]指出,LDH患者行侧路椎间孔镜手术后接受腰椎运动链分期训练,有助于改善腰椎功能,缓解疼痛。吕振等[18]将基于McKenzie技术的腰椎运动链训练应用于LDH椎间孔镜术后分期康复中发现,VAS、ODI评分及腰椎多裂肌横截面积均得到改善,生活质量得到提高。本研究数据显示,腰椎运动链训练系统干预12周后、24周后观察组ODI、VAS评分改善程度明显改善,与上述观点相近,充分佐证腰椎运动链训练系统有效性及可行性。比较3项训练方案发现,训练周期及训练方案大致相似,本研究中明确给出各项训练方法具体步骤及参照图,有助于患者掌握准确康复手段。需注意的是,随着互联网时代的到来,本研究主张以微信进行院外远程康复指导,可有效督促患者坚持自我康复锻炼,促进腰椎功能改善。与上述仅研究腰椎多裂肌横截面积不同的是,本研究纳入腰背肌生物力学参数AP、PT、F/E,其中F/E反映腰椎肌力平衡,AP反映腰背部伸屈肌最大输出力量,PT反映及肌肉做功率,动态监测LDH术后患者腰背肌生物力学参数变化有利于疗效评估[19-20]。LDH患者突出髓核可破坏脊柱稳定系统,加以疼痛症状影响,致使腰背肌萎缩、肌力下降,最终导致腰背肌生物力学性能异常[21-22]。腰椎运动链训练根据患者不同阶段病理特点制定训练方法,从简单到复杂,从单肢体到多肢体,循序渐进,充分协调整理,逐步恢复患者肌力,恢复腰背肌生物力学性能;训练期间重点强调腰部核心肌力训练,如术后4 d~2周采取平卧拱身运动、仰卧团身抱运动,术后2~3周采取仰卧上肢支撑伸腰运动,长期坚持训练可显著提高腰部力量,改善腰椎血液循环,促使腰椎间盘回缩,缓解腰椎疼痛,恢复腰椎功能,稳定脊柱功能。值得关注的是,坐位体前屈和仰卧团身抱运动可牵拉竖脊肌,影响肌肉功能,还可增加间盘后方的张力,影响纤维环修复。因此实际操作中,应结合患者实际情况减少上述训练强度或频次,以免引起不必要损伤。另有研究表明,在早期和长期腰痛患者中,维持腰椎稳定性主要核心肌肉伴有一定程度肌肉厚度下降[23-24]。表面肌电图为客观肌肉功能检查手段,主要特征性指标为平均振幅值,其值变化与肌肉进展密切相关[25-26]。梁振文等[27]指出,LDH患者因疼痛过重,存在椎旁肌紧张或肌痉挛,表现为平均振幅值降低。统计分析发现,干预前两组健侧、弱链侧平均振幅值过低,与上述研究观点相符,干预12周后、24周后观察组建侧、弱链侧平均振幅值高于对照组,弱链是指部分肌肉不收缩,失去力学连接作用,致使动作完成不顺畅、不正确,最终导致肌肉劳损、疼痛,精准激活弱链肌群对提高脊柱运动链力学效率尤为重要[28-29]。腰椎运动链训练期间过程通过循序渐进训练增加腰部核心稳定肌群本体感觉输入刺激,激活更多运动单位,增强目标肌群肌力,恢复失衡肌肉序列,增强脊柱稳定性,改善腰椎功能。

3.2 腰椎运动链训练系统对LDH患者下肢步态参数、预后的影响

国内研究表明,LDH患者常常伴有异常步态,表现为摆动相缩短、支撑相延长、步态周期明显延长,水平位移速度减慢[30]。国外研究亦证实,LDH患者步速减低,步长减少,即使步速加快,其余参数无明显变化[31]。鉴于上述分析,本研究以步态参数为指标,创新性分析腰椎运动链系统对其改善作用,发现干预12周后、24周后观察组步幅、步频高于对照组($P<0.05$),可见腰椎运动链训练系统可改善LDH术后步态。可能原因为,术后1~3 d进行直腿抬高训练,利于活动神经根,减轻局部炎症反应,改善局部血液循环,加快组织自我修复,随着病情好转,强化腰背肌、腹肌、四肢功能训练,可提高局部肌肉力量,维持脊柱腰段稳定性,恢复肢体功能及步态。同时发现,干预24周后观察组SF-36、BI评分高于对照组($P<0.05$),说明腰椎运动链训练系统针对性更强,利用新的功能锻炼强化患者薄弱核心力量环节,纠正身体姿势习惯和脊柱日常曲度,能够恢复腰椎功能及下肢功能,促使其回归正常工作与生活。

4 结 论

综上所述,腰椎运动链训练系统可缓解LDH术后疼痛,改善下肢步态,恢复腰椎功能及生物力学,

提高生活质量及日常生活能力。但本研究为单中心、小样本研究,所得结果均为短中期病例报道,今后研究中将多中心、多渠道选取样本,扩大样本量,增加观察时间进行研究证实。

参考文献:

[1] ROGERSON A,AIDLEN J,JENIS L G. Persistent radiculopathy after surgical treatment for lumbar disc herniation:causes and treatment options [J]. International orthopaedics, 2019, 43 (4): 969-973.

[2] 刘慧,沈国权,张喜林,等. 肌肉加载下腰椎间盘突出的有限元研究[J]. 医用生物力学,2019,34(5):493-499.
LIU Hui,SHEN Guoquan,ZHANG Xilin,et al. Finite element study of lumbar disc herniation loaded with muscle force[J]. Journal of medical biomechanics,2019,34(5):493-499(in Chinese).

[3] 任伟剑,刘军,王洪伟,等. 全身麻醉下经皮椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症的疗效分析[J]. 局解手术学杂志,2021,30(5):400-404.
REN Weijian,LIU Jun,WANG Hongwei,et al. Analysis of the outcome of percutaneous endoscopic lumbar discectomy for lumbar disc herniation under general anesthesia[J]. Journal of regional anatomy and operative surgery,2021,30(5):400-404(in Chinese).

[4] 仝敬月. 平乐理筋手法联合腰部核心肌力训练对腰椎间盘突出症康复期患者的影响[J]. 中医药信息,2020,37(2):103-106.
TONG Jingyue. Effects of Pingle physiotherapy combined with lumbar core strength training on the improvement of pain level and JOA scores in patients with LDH during rehabilitation[J]. Information on traditional Chinese medicine,2020,37(2):103-106(in Chinese).

[5] 樊娟,张建锋,董宪杰. 基于麦肯基技术的腰椎运动链训练对腰椎间盘突出症 PTED 术后患者的效果观察[J]. 医学理论与实践,2022,35(14):2508-2509.
FAN Juan, ZHANG Jianfeng, DONG Xianjie. Observation of the effect of lumbar spine motion chain training based on McKinsey technology on patients with lumbar disc herniation after PTED surgery[J]. The journal of medical theory and practice, 2022, 35 (14):2508-2509(in Chinese).

[6] 周谋望,岳寿伟,何成奇,等. "腰椎间盘突出症的康复治疗"中国专家共识[J]. 中国康复医学杂志,2017,32(2):129-135.
ZHOU Mouwang,YUE Shouwei,HE Chengqi,et al. Chinese expert consensus on rehabilitation treatment of lumbar disc herniation[J]. Chinese journal of rehabilitation medicine,2017,32(2):129-135 (in Chinese).

[7] 杨波,梁智林,唐杰,等. 腰椎管狭窄症患者椎旁肌形态与其 Oswestry 功能障碍指数的相关性分析[J]. 颈腰痛杂志,2020,41(2):218-220.
YANG Bo,LIANG Zhilin,TANG Jie,et al. Correlation analysis between paraspinal muscle morphology and Oswestry dysfunction index in patients with lumbar spinal stenosis[J]. The journal of cervicodynia and lumbodynia,2020,41(2):218-220(in Chinese).

[8] 田雪梅,王海东,李伟青. 祛寒逐风合剂联合西医常规疗法治疗膝骨关节炎风寒痹阻证临床研究[J]. 中国中医药信息杂志,2020,27(5):23-27.
TIAN Xuemei,WANG Haidong,LI Weiqing. Clinical study on Quhan Zhufeng Mixture combined with conventional western medicine therapy for treatment of knee osteoarthritis with wind cold blocking type[J]. Chinese journal of information on traditional Chinese medicine,2020,27(5):23-27(in Chinese).

[9] 金玉琴,钟良,金忱,等. 应用 SF-36 量表评估腹腔神经丛毁损术对胰腺癌患者的治疗价值[J]. 国际消化病杂志,2019,39(5):373-376.
JIN Yuqin,ZHONG Liang,JIN Chen,et al. Evaluation of the therapeutic value of celiac plexus block in patients with pancreatic cancer by using SF-36 scale[J]. International journal of digestive diseases,2019,39(5):373-376(in Chinese).

[10] 杨爽. 低频经头穴 rTMS 治疗脑卒中恢复期上肢痉挛性偏瘫的临床疗效及对 FMA 评分、BI 指数的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志,2021,19(3):492-494.
YANG Shuang. Clinical efficacy of low-frequency transcranial transcranial transcranial transcranial magnetic resonance spectroscopy (rTMS) in the treatment of upper limb spastic hemiplegia during stroke recovery and its impact on FMA score and BI index[J]. Chinese journal of integrative medicine on cardio-cerebrovascular disease,2021,19(3):492-494(in Chinese).

[11] 郭云强,刘忠,杨先海,等. 坐姿人体动态特性的有限元法研究[J]. 应用力学学报,2023,40(6):1445-1452.
GUO Yunqiang, LIU Zhong, YANG Xianhai, et al. The dynamic characteristics of sitting human body studied by finite element method[J]. Chinese journal of applied mechanics,2023,40(6):1445-1452(in Chinese).

[12] HORNUNG A L,BARAJAS J N,RUDISILL S S,et al. Prediction of lumbar disc herniation resorption in symptomatic patients:a prospective,multi-imaging and clinical phenotype study [J]. Spine journal,2023,23(2):247-260.

[13] XU J H,DING X,WU J Z,et al. A randomized controlled study for the treatment of middle-aged and old-aged lumbar disc herniation by Shis spine balance manipulation combined with bone and muscle guidance[J]. Medicine,2020,99(51):e23812.

[14] ABDI A,BAGHERI S R,SHEKARBEI Z,et al. The effect of repeated flexion-based exercises versus extension-based exercises on the clinical outcomes of patients with lumbar disk herniation surgery:a randomized clinical trial[J]. Neurological research,2023,45 (1):28-40.

[15] ZHONG D,KE Z Y,CHEN Q,et al. A clinical nomogram for predicting the residual low back pain after percutaneous endoscopic surgery for lumbar disc herniation[J]. International orthopaedics, 2023,47(3):819-830.

[16] 黄勇兄,郑晓青,庄见雄,等. 3D 打印技术在经皮椎间孔镜手术

治疗腰椎管狭窄症中的应用[J]. 中国骨与关节损伤杂志，2019，34(1)：89-91.

HUANG Yongxiong，ZHENG Xiaoqing，ZHUANG Jianxiong，et al. The application of 3D printing technology in percutaneous transforaminal endoscopic surgery for lumbar spinal stenosis[J]. Chinese journal of bone and joint injury，2019，34(1)：89-91(in Chinese).

[17] 冯冬前，张斌. 腰椎运动链分期训练对腰椎间盘突出症侧路椎间孔镜术后康复效果的研究[J]. 颈腰痛杂志，2021，42(6)：829-832.

FENG Dongqian，ZHANG Bin. A study on the rehabilitation effect of staged training of lumbar spine motion chain after lateral foramen endoscopic surgery for lumbar disc herniation[J]. The journal of cervicodynia and lumbodynia，2021，42(6)：829-832(in Chinese).

[18] 吕振，白金柱. 基于McKenzie技术的腰椎运动链训练应用于腰椎间孔镜术后分期康复的前瞻性研究[J]. 中国组织工程研究，2021，25(9)：1398-1403.

LÜ Zhen，BAI Jinzhu. A prospective study on the application of staged lumbar motion chain rehabilitation based on McKenzie's technique after lumbar percutaneous transforaminal endoscopic discectomy[J]. Chinese journal of tissue engineering research，2021，25(9)：1398-1403(in Chinese).

[19] CHAI Chong，XU Xiucheng，LIU Zongke. The effect of ultra short wave combined with semiconductor laser on the biomechanical properties of lumbar dorsal muscles in patients with lumbar disc herniation[J]. Journal of neck and lumbar pain，2023，44(2)：299-300.

[20] 江天蔚，姚琦，李志君. 不同术式治疗腰椎间盘突出症疗效及对腰背肌生物力学性能的影响[J]. 川北医学院学报，2022，37(10)：1276-1279.

WANG Tianwei，YAO Qi，LI Zhijun. Effects of different surgical methods on lumbar disc herniation and and its influence on the biomechanical properties of lumbar dorsal muscles[J]. Journal of North Sichuan Medical College，2022，37(10)：1276-1279(in Chinese).

[21] 欧阳莎菲，耿萍，邱鸿桢. 超短波联合半导体激光对腰椎间盘突出症患者疼痛程度及腰背肌生物力学性能的改善作用[J]. 中国激光医学杂志，2019，28(4)：209-213.

OUYANG Shafei，GENG Ping，QIU Hongzhen. Effect of joint application of ultrashort wave and semiconductor laser on pain level and lumbodorsal muscle biomechanical properties of lumbar disc herniation in patients with lumbar disc herniation[J]. Chinese journal of laser medicine & surgery，2019，28(4)：209-213(in Chinese).

[22] 吕倩忆，陈芯仪，郑慧娥，等. 不同角度肘按法对正常人腰椎椎体及后部结构的应力和位移分析[J]. 中国组织工程研究，2022，26(9)：1346-1350.

LÜ Qianyi，CHEN Xinyi，ZHENG Huie，et al. Stress and displacement of normal lumbar vertebra and posterior structure with different elbow pressing methods[J]. Journal of clinical rehabilitative tissue engineering research，2022，26(9)：1346-1350(in Chinese).

[23] YILDIRIMil P，GULTEKIN A. The Effect of a Stretch and strength-based yoga exercise program on patients with neuropathic pain due to lumbar disc herniation[J]. Spine，2022，47(10)：711-719.

[24] LU H B，WANG L S，LI M Q，et al. The association between changes in multifidus muscle morphology and back pain scores following discectomy surgery for lumbar disc herniation：a systematic review and meta-analysis[J]. European spine journal，2022，31(7)：1784-1794.

[25] QIE S Y，LI W，LI X R，et al. Electromyography activities in patients with lower lumbar disc herniation[J]. Journal of back and musculoskeletal rehabilitation，2020，33(4)：589-596.

[26] 邢鹏，郁金岗，张春雨. 雷火灸联合斜圆刃针对腰椎间盘突出症患者肌电图及血清MMP-3、PGE2水平的影响[J]. 中国中医急症，2019，28(9)：1653-1655.

XING Peng，YU Jingang，ZHANG Chunyu. The effect of thunder fire moxibustion combined with oblique round blade on electromyography and serum MMP-3 and PGE2 levels in patients with lumbar disc herniation[J]. Journal of emergency in traditional Chinese medicine，2019，28(9)：1653-1655(in Chinese).

[27] 梁振文，余秋华，李丹，等. 悬吊训练激活弱链肌群对腰椎间盘突出症的疗效[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版)，2018，39(4)：345-349.

LIANG Zhenwen，YU Qiuhua，LI Dan，et al. The effects of sling exercise training on patients with lumbar disc herniation by activating the weak-link muscles[J]. Journal of Jinan University(natural science & medicine edition)，2018，39(4)：345-349(in Chinese).

[28] 刘晓艳，张颖，王春方，等. 基于表面肌电信号研究McKenzie疗法治疗腰椎间盘突出的临床疗效[J]. 生物医学工程与临床，2022，26(3)：295-299.

LIU Xiaoyan，ZHANG Ying，WANG Chunfang，et al. Clinical efficacy of surface EMG signals based McKenzie therapy for lumbar disc herniation[J]. Biomedical engineering and clinical medicine，2022，26(3)：295-299(in Chinese).

[29] LATHLEAN T，RAMACHANDRAN A K，SIM S，et al. Clinical utility and reproducibility of surface electromyography in individuals with chronic low back pain：A protocol for a systematic review and meta-analysis[J]. British medical journal，2022，12(5)：e058652.

[30] 任绪艳，杜艳艳，刘华. 腰椎间盘突出症患者步态特征及相关机制研究进展[J]. 神经损伤与功能重建，2019，14(5)：247-249.

REN Xuyan，DU Yanyan，LIU Hua. Research progress on gait characteristics and related mechanisms in patients with lumbar disc herniation[J]. Neural injury and functional reconstruction，2019，14(5)：247-249(in Chinese).

[31] WANG W，WEI H，SHI R X，et al. Dysfunctional muscle activities and co-contraction in the lower-limb of lumbar disc herniation patients during walking[J]. Scientific reports，2020，10(1)：20432.

（编辑　吕茵）